

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-326734

(43)Date of publication of application : 08.12.1998

(51)Int.Cl.

H01L 21/027

G03F 7/207

(21)Application number : 09-134980

(71)Applicant : NIKON CORP

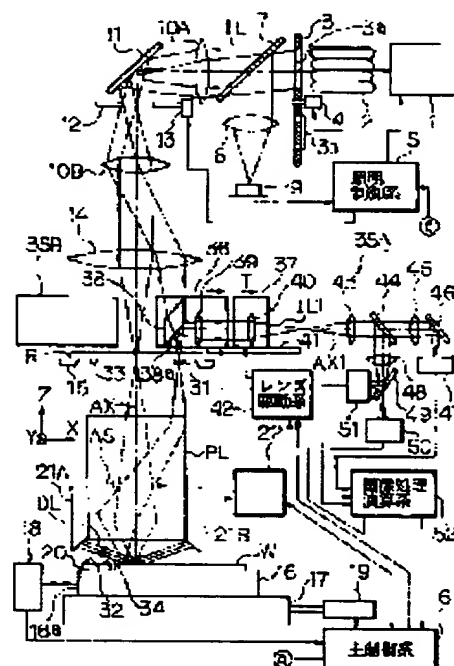
(22)Date of filing : 26.05.1997

(72)Inventor : NISHI TAKECHIKA

(54) DETECTING METHOD OF FOCAL POINT AND PROJECTION ALIGNER USING THE SAME METHOD**(57)Abstract:**

PROBLEM TO BE SOLVED: To precisely and speedily detect a point in focus of a projection optical system under varied condition of illumination by an exposing light.

SOLUTION: An illuminating light obtained by partially refracting the exposing light IL ejected from a condenser lens 14 through a light path correction section 38 illuminates a reticle mark 31 on the reticle R and a standard mark 32 through a projection optical system PL. The reflected light from the reticle mark 31 and the standard mark 32 through the projection optical system PL are collected by an image measuring system 35A, and those mark images are focussed on near the image pickup face of the image pickup device 47, 50 and 51. The image pickup faces of the image pickup device 50 and 51 are provided back and forth of a conjugate face with the reticle mark 31, the each defocused value of the reticle mark 31 and the standard mark 32 are detected by the contrast given by the image signal from the image pickup device 50 and 51, and the point in focus of the projection optical system PL is detected by the result of the detection.

**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

★NIKR

P84

99-091768 / 08

*JP 10326734-A

99-0917687/08 ★JP 10326734-A
 Focusing position detection method for projection exposure system - involves calculating defocus amount of reticle mark and standard mark from contrast of image signal to detect focusing position

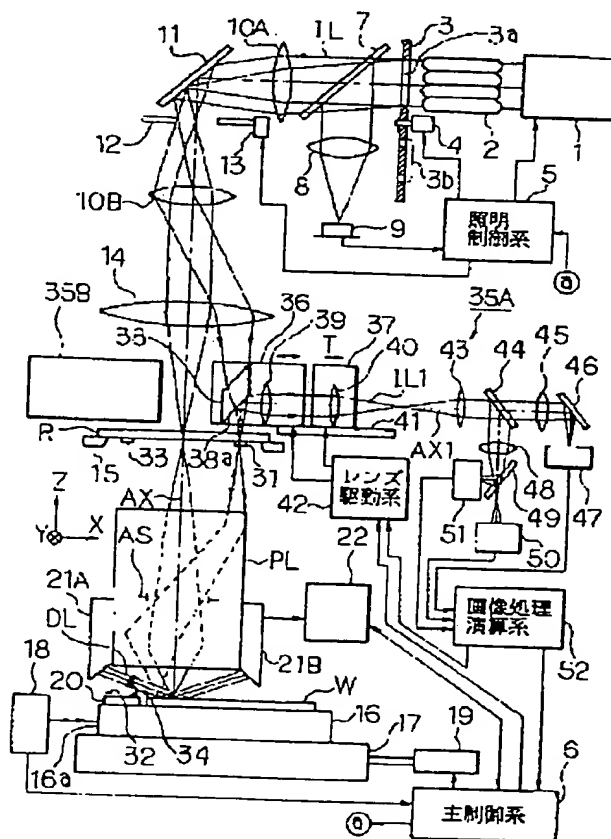
NIKON CORP 97.05.26 97JP-134980

S02 U11 U14 (98.12.08) II01L 21/027, G03F 7/207

The method involves illuminating predetermined standard mark (32,34) through a projection optical unit (PL) by exposure light beam (IL). The reticle mark (31) on the reticle (R) is illuminated by exposure light beam through a condenser lens (14) and an optical path correction unit (38). The image pickup surface of the image pickup elements (50,51) are arranged around the conjugate surface of the reticle mark. The reflected light beam from the standard mark is detected by the image pickup elements. The defocus amount of reticle mark and standard mark, is detected from the contrast of image obtained from output signal of the image pick up elements. The focussing position of the projection optical unit is detected based on the detected defocus amount.

USE - For manufacture of semiconductor device, LCD element, thin film magnetic head.

ADVANTAGE - Shortens time required for focussing position detection. Enables quick detection of defocus amount. (20pp Dwg.No.1/11)
N99-067713



A - document

MC equivalents

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-326734

(43) 公開日 平成10年(1998)12月8日

(51) Int. Cl. ⁶

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

H01L 21/027

H01L 21/30

526

Z

G03F 7/207

G03F 7/207

H

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全20頁)

(21) 出願番号

特願平9-134980

(22) 出願日

平成9年(1997)5月26日

(71) 出願人

000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者

西 健爾

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

(74) 代理人

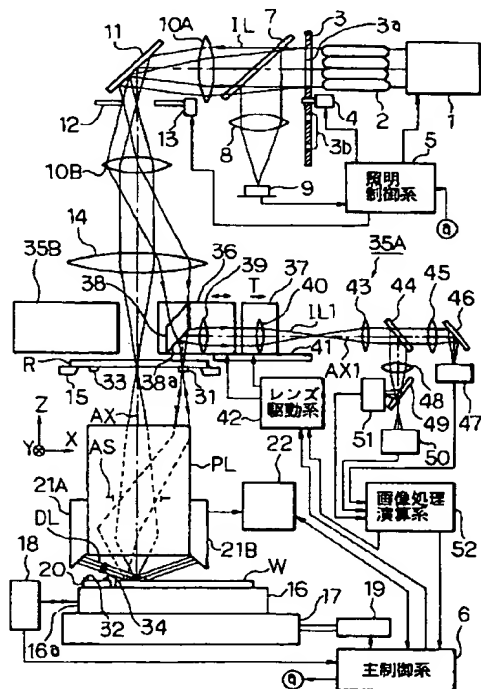
弁理士 大森 聡

(54) 【発明の名称】 合焦位置検出方法及び該方法を使用する投影露光装置

(57) 【要約】

【課題】 露光光の照明条件が変更されても高精度に、且つ高速に投影光学系の合焦位置を検出する。

【解決手段】 コンデンサレンズ14から射出される露光光 I L の一部を光路補正部材38で偏向して得られる照明光で、レチクルR上のレチクルマーク31を照明すると共に、投影光学系 P L を介して基準マーク32を照明する。レチクルマーク31からの反射光、及び投影光学系 P L を介する基準マーク32からの反射光を像面計測系35Aで受光し、撮像素子47、50、51の撮像面付近にそれらのマーク像を形成する。撮像素子50、51の撮像面はレチクルマーク31との共役面の前後に配置され、撮像素子50、51からの撮像信号より得られる像のコントラストからレチクルマーク31、及び基準マーク32の各デフォーカス量を検出し、この検出結果より投影光学系 P L の合焦位置を検出する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 所定の露光光のもとでマスクに形成されたパターンの像を基板上に投影するための投影光学系の合焦位置を検出する合焦位置検出方法において、前記投影光学系の前記基板側に配置された所定の基準マークを照明し、

前記基準マークからの反射光を前記投影光学系を介して前記マスクの共役面の前後 2 箇所検出して、前記共役面の前後の 2 箇所前記基準マークの像のコントラストをそれぞれ求め、

該求められたコントラストに基づいて前記投影光学系の合焦位置を検出することを特徴とする合焦位置検出方法。

【請求項 2】 前記基準マークの照明は、前記露光光を用いて前記露光光と実質的に同じ照明条件で、前記マスク及び前記投影光学系を介して行われることを特徴とする請求項 1 記載の合焦位置検出方法。

【請求項 3】 前記コントラストと前記投影光学系の合焦位置に対するデフォーカス量との関係を記憶しておく、

該記憶された関係と前記検出されたコントラストとに基づいて前記投影光学系の合焦位置を検出することを特徴とする請求項 1、又は 2 記載の合焦位置検出方法。

【請求項 4】 前記コントラストと前記投影光学系の合焦位置に対するデフォーカス量との関係は、前記露光光の照明条件毎に複数記憶されていることを特徴とする請求項 3 記載の合焦位置検出方法。

【請求項 5】 前記コントラストと前記投影光学系の合焦位置に対するデフォーカス量との関係は、前記投影光学系に対する露光光の照射量、及び前記投影光学系の周囲の大気圧の少なくとも一方に応じて複数記憶されていることを特徴とする請求項 3 記載の合焦位置検出方法。

【請求項 6】 所定の露光光のもとでマスクに形成されたパターンの像を投影光学系を介して基板上に投影する投影露光装置において、

前記基板を載置する基板ステージと、

所定の基準マークが形成され前記基板ステージ上に設けられた基準部材と、

該基準部材上の前記基準マークを照明する照明系と、

前記基準マークからの反射光を前記投影光学系を介して前記マスクの共役面の前側で受光する第 1 の光電検出器と、

前記基準マークからの反射光を前記投影光学系を介して前記マスクの共役面の後側で受光する第 2 の光電検出器と、

前記第 1 及び第 2 の光電検出器の検出信号より前記共役面の前後の 2 箇所での前記基準マークの像のコントラストをそれぞれ求めることによって、前記投影光学系の合焦位置を検出する演算系と、

を備えたことを特徴とする投影露光装置。

【請求項 7】 前記露光光とは異なる波長域の照明光を前記投影光学系を介することなく前記基板の表面に照射すると共に、前記基板の表面からの反射光を受光することによって前記基板の表面を所定の基準面に合わせ込むための合焦システムを更に備え、

該合焦システムの前記所定の基準面として前記演算系によって求められた前記投影光学系の合焦位置を設定することを特徴とする請求項 6 記載の投影露光装置。

【請求項 8】 前記マスクに対してほぼ共役な面で前記照明系によって照明された前記基準マークの像と前記マスクに形成された所定のマークの像とを検出する第 3 の光電検出器を更に備えたことを特徴とする請求項 6、又は 7 記載の投影露光装置。

【請求項 9】 前記投影光学系及び前記マスクを通過した前記基準マークからの反射光と前記マスクに形成されたマークからの反射光とを受光すると共に、前記第 1、第 2、及び第 3 の光電検出器のそれぞれに導くための受光系と、

該受光系の合焦位置を変化させるために前記受光系の少なくとも一つのレンズ素子を光軸方向に駆動する駆動系と、を有し、

前記第 1 及び第 2 の光電検出器からの検出信号より求められる前記マスクに形成されたマークの像のコントラストに基づいて前記駆動系を制御することを特徴とする請求項 8 記載の投影露光装置。

【請求項 10】 前記第 1 及び第 2 の光電検出器の受光面は、前記基板ステージを前記投影光学系の光軸方向に移動したときに前記基準マークの像強度の変化量が極大又は極小となる位置にそれぞれ配置されることを特徴とする請求項 6 記載の投影露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、例えば半導体素子、液晶表示素子、又は薄膜磁気ヘッド等を製造するためのリソグラフィ工程でマスク上のパターンを感光性の基板上に転写するために使用される投影光学系の合焦位置（像面）を検出する場合に使用して好適な合焦位置検出方法、及びこの方法を使用する投影露光装置に関する。

【0002】

【従来の技術】半導体素子等を製造するためのリソグラフィ工程において、マスクとしてのレチクルのパターンを投影光学系を介してフォトリソグが塗布されたウエハ（又はガラスプレート等）上の各ショット領域に転写するために、ステッパーのような一括露光型の投影露光装置、又はステップ・アンド・スキャン方式のような走査露光型の投影露光装置が使用されている。この種の投影露光装置では、開口数が大きく焦点深度の浅い投影光学系が使用されるため、従来よりウエハの表面を投影光学系の像面に対して焦点深度の範囲内に合わせ込む（合

焦させる) ためのオートフォーカス機構が備えられている。このオートフォーカス機構は、フォトレジストに対して非感光性の照明光を投影光学系の光軸に対して斜めにウエハ表面に照射し、その反射光を受光することによって、ウエハ表面の像面からのデフォーカス量を検出する斜入射方式の焦点位置検出系(以下、「AFセンサ」と呼ぶ)と、このAFセンサの検出結果に基づいてウエハのフォーカス位置(投影光学系の光軸方向の位置)を制御するステージ系と、を有している。

【0003】最近では、ウエハ表面の複数の計測点でのフォーカス位置を検出する多点のAFセンサも使用されており、この場合には単にウエハ上の露光対象領域の中心のフォーカス位置を像面に合わせ込むのみならず、その露光対象領域の平均的な面の傾斜角を像面に平行に合わせ込むレベリング制御も行われる。これらの場合、そのAFセンサは投影光学系を介することなく予め計測されている投影光学系の像面(ベストフォーカス位置)に対するウエハ表面のデフォーカス量を計測するセンサであり、例えば経時変化によってその像面が次第にドリフトする恐れがある。そこで、例えば所定の時間が経過する毎に、投影光学系の像面の位置を正確に計測することによって、AFセンサの基準面としての像面のキャリブレーションを行う必要がある。

【0004】そのように像面の位置を計測するための従来の像面計測系として、特開昭62-58624号公報には、光ファイバを介して導かれた照明光で、レチクル上の第1の合焦用マークを照明すると共に、レチクル上の窓部、及び投影光学系を介してウエハステージ上の第2の合焦用マークを照明し、それらの合焦用マークからの反射光により結像されるそれらの合焦用マークの像を撮像する計測系が開示されている。この計測系では、レチクル側の第1の合焦用マークの像のコントラストが例えば最大となるように結像系の調整を行った後、ウエハステージを上下させることによって第2の合焦用マークの像のコントラストが最大となるフォーカス位置を像面の位置として求めていた。そして、予め大気圧変化や露光光の照射量に対する像面の変動量を表す関係式を求めておき、そのように像面位置が求められた後は、その関係式に基づいて像面の変動量を予測し、この予測された変動量に基づいてAFセンサの像面位置の補正を行っていた。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】上記の如き従来の像面計測系においては、投影露光装置の露光用の照明光学系とは別に独立した光ファイバからの照明光でレチクル上及びウエハステージ上の合焦用マークを照明して、それらの合焦用マークの像を撮像していた。これに関して最近では、解像度をより高めるために、照明系のコヒーレンスファクタ(σ 値)を変更したり、照明系の開口絞りを複数の偏心した小開口よりなる絞りにするいわゆる変形

照明等が使用されることがある。このように照明条件を変更すると、投影光学系の像面の位置が微妙に変化する恐れがあるが、従来の像面計測系では露光用の照明系とは独立の照明系が使用されていたため、照明条件の変更による像面位置の変化を計測できないという不都合があった。

【0006】また、従来はウエハステージ側の合焦用マークの像のコントラストが最大になる位置を検出するためにウエハステージを上下方向に駆動していたが、この際に計測精度を向上するためにはその計測を複数回繰り返すことが望ましいため、その計測だけで例えば数十秒の時間を要していた。そのために従来は、例えばレチクル交換時にのみ像面位置のキャリブレーションを行い、そのキャリブレーションの間は予め求めた関係式に基づいた予測制御を行っていたが、そのようにキャリブレーションの間隔が長いと、次第に焦点深度を超えるデフォーカス量が生ずる恐れがあった。

【0007】本発明は斯かる点に鑑み、投影光学系の合焦位置、即ち像面の位置を短時間に検出できる合焦位置検出方法を提供することを第1の目的とする。更に本発明は、露光光の照明条件が変更されても高精度に投影光学系の合焦位置を計測できると共に、その合焦位置を短時間に計測できる合焦位置検出方法を提供することを第2の目的とする。更に本発明は、そのような合焦位置検出方法を使用できる投影露光装置を提供することを第3の目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明による第1の合焦位置検出方法は、所定の露光光のもとでマスク(R)に形成されたパターンの像を基板(W)上に投影するための投影光学系(PL)の合焦位置(像面の位置)を検出する合焦位置検出方法において、投影光学系(PL)のその基板側に配置された所定の基準マーク(32)を照明し、その基準マークからの反射光を投影光学系(PL)を介してマスク(R)の共役面(57B, 57C)の前後2箇所検出して、その共役面の前後の2箇所検出基準マーク(32)の像のコントラストをそれぞれ求め、このように求められたコントラストに基づいて投影光学系(PL)の合焦位置を検出するものである。

【0009】斯かる本発明によれば、例えば予めマスクの交換時等に基準マーク(32)のフォーカス位置(投影光学系の光軸方向の位置)を変化させて、マスク

(R)に対する共役面(57B, 57C)の前後2箇所それぞれ検出される基準マーク(32)の像のコントラストの変化の状態を記憶しておく。そして、例えば基板の交換時等には静止状態で一度基準マーク(32)の像のコントラストを2箇所検出し、検出されたコントラストを記憶されているコントラストの変化の状態と比較することによって、高速、且つ高精度に基準マーク(32)のフォーカス位置、ひいては投影光学系(P

L) の合焦位置 (像面の位置) に対するデフォーカス量が検出できる。この後、そのデフォーカス量を相殺するように基板 (W) のフォーカス位置を調整することによって、その基板表面が投影光学系 (P L) の像面に合焦される。

【0010】また、本発明による第2の合焦位置検出方法は、その第1の合焦位置検出方法において、基準マーク (3 2) に対する照明を、その露光光を用いてその露光光と実質的に同じ照明条件で、マスク (R) 及び投影光学系 (P L) を介して行うものである。斯かる本発明によれば、露光光と実質的に同じ照明条件で基準マーク (3 2) が照明されるため、露光光の照明条件を例えば輪帯照明、変形照明、小 σ 値の照明等に切り換えた場合でもそれぞれ高精度に投影光学系 (P L) の合焦位置を検出できる。

【0011】また、これらの場合に、そのコントラストと投影光学系 (P L) の合焦位置に対するデフォーカス量との関係を記憶しておき、このように記憶された関係とその検出されたコントラストとに基づいて投影光学系 (P L) の合焦位置を検出することが望ましい。即ち、予め例えば斜入射方式の焦点位置検出系 (A Fセンサ) を用いて、基準マーク (3 2) の合焦位置に対するデフォーカス量を計測した状態で、そのデフォーカス量を次第に変化させながらその共役面の前後の2箇所では基準マーク (3 2) の像のコントラストを検出して、そのデフォーカス量とコントラストとの関係を記憶しておく。そして、例えばその焦点位置検出系のキャリブレーション時には、静止状態で一度基準マーク (3 2) の像のコントラストを検出し、検出結果を記憶されている関係と比較することによって、高速且つ高精度にデフォーカス量、即ち合焦位置までの誤差が検出できる。

【0012】また、そのコントラストとその投影光学系の合焦位置に対するデフォーカス量との関係は、その露光光の照明条件毎に複数記憶することが望ましい。その露光光の照明条件に応じてその関係を切り換えて使用することによって、容易に各照明条件で合焦位置を正確に検出できる。また、そのコントラストとその投影光学系の合焦位置に対するデフォーカス量との関係は、その投影光学系に対する露光光の照射量、及びその投影光学系の周囲の大気圧の少なくとも一方に応じて複数記憶することが望ましい。露光光の照射量や大気圧によって投影光学系の像面の位置が次第に変化することがあるため、それらに応じてその関係を切り換えて使用することによって、容易に合焦位置を正確に検出できる。

【0013】また、本発明による第1の投影露光装置は、所定の露光光のもとでマスク (R) に形成されたパターンの像を投影光学系 (P L) を介して基板 (W) 上に投影する投影露光装置において、基板 (W) を載置する基板ステージ (1 6, 1 7) と、所定の基準マーク (3 2) が形成されその基板ステージ上に設けられた基

準部材 (2 0) と、この基準部材上の基準マーク (3 2) を照明する照明系 (1 ~ 3, 1 0 A ~ 1 4, 3 8) と、基準マーク (3 2) からの反射光を投影光学系 (P L) を介してそのマスクの共役面 (5 7 C) の前側で受光する第1の光電検出器 (5 1) と、基準マーク (3 2) からの反射光を投影光学系 (P L) を介してそのマスクの共役面 (5 7 B) の後側で受光する第2の光電検出器 (5 0) と、これら第1及び第2の光電検出器の検出信号よりその共役面の前後の2箇所での基準マーク (3 2) の像のコントラストをそれぞれ求めることによって、投影光学系 (P L) の合焦位置を検出する演算系 (5 2) と、を備えたものである。

【0014】斯かる本発明によれば、マスクの共役面の前後の2箇所に配置された光電検出器 (5 0, 5 1) の検出信号よりその2箇所での基準マーク (3 2) の像のコントラストが検出できるため、本発明の第1の合焦位置検出方法が使用できる。また、本発明による第2の投影露光装置は、その第1の投影露光装置において、その露光光とは異なる波長域の照明光を投影光学系 (P L) を介することなく基板 (W) の表面に照射すると共に、基板 (W) の表面からの反射光を受光することによって基板 (W) の表面を所定の基準面に合わせ込むための合焦システム (2 1 A, 2 1 B, 2 2, 6, 1 6) を更に備え、この合焦システムのその所定の基準面として演算系 (5 2) によって求められた投影光学系 (P L) の合焦位置を設定するものである。この場合、その合焦システムは投影光学系を介することなく、基板 (W) 表面の所定の基準面からのデフォーカス量を検出する焦点位置検出系 (A Fセンサ) を備えている。この焦点位置検出系は、露光中であっても連続的に基板 (W) の表面のデフォーカス量を計測できるが、投影光学系 (P L) を介さないために次第にオフセット (誤差) が生ずる恐れがある。そこで、例えば基板の交換時に、それらの第1及び第2の光電検出器の検出信号より求められる基準マーク (3 2) のコントラストより正確なデフォーカス量を検出し、この結果よりその焦点位置検出系の所定の基準面の位置を補正することによって、その焦点位置検出系のキャリブレーションが高速、且つ高精度に行われる。

【0015】また、上記の本発明の投影露光装置において、マスク (R) に対してほぼ共役な面でその照明系によって照明された基準マーク (3 2) の像とマスク

(R) に形成された所定のマーク (3 1) の像とを検出する第3の光電検出器 (4 7) を更に備えることが望ましい。この第3の光電検出器 (4 7) の検出信号より基準マーク (3 2) の像に対するマスク側のマーク (3 1) の位置ずれ量を検出することによって、そのマスクのアライメントを行うことができる。

【0016】この場合、投影光学系 (P L) 及びマスク (R) を通過した基準マーク (3 2) からの反射光とマスク (R) に形成されたマークからの反射光とを受光す

10

20

30

40

50

ると共に、第1、第2、及び第3の光電検出器(51、50、47)のそれぞれに導くための受光系(35A)と、この受光系の合焦位置(マスクに形成されたマークの像面の位置)を変化させるためにこの受光系の少なくとも一つのレンズ素子(40)を光軸方向に駆動する駆動系(41、42)と、を有し、第1及び第2の光電検出器(51、50)からの検出信号より求められるマスク(R)に形成されたマーク(31)の像のコントラストに基づいて駆動系(41、42)を制御することが望ましい。この際に、例えば予めその駆動系の駆動量とマスク側のマーク(31)の2箇所での像のコントラストとの関係を求めておくことによって、その後は静止状態で一度マスク側のマーク(31)の像のコントラストを検出し、この検出結果に応じてその駆動系を介してそのレンズ素子を移動させることによって、高速にマスク側のマーク(31)の像の合焦が行われる。

【0017】また、第1及び第2の光電検出器(51、50)の受光面を、その基板ステージを投影光学系(PL)の光軸方向に移動したときに基準マーク(32)の像強度の変化量が極大又は極小となる位置にそれぞれ配置するようにしてもよい。これによって、基準マーク(32)の像のデフォーカス量を最も高感度に検出できる。なお、第1及び第2の光電検出器(51、50)の受光面を、その駆動系を駆動したときにマスク側のマーク(31)の像強度の変化量が極大又は極小となる位置にそれぞれ配置するようにしてもよい。これによって、マスク側のマークの像のデフォーカス量を最も高感度に検出できる。

【0018】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態の一例につき図面を参照して説明する。本発明は、ステッパのような一括露光型、又はステップ・アンド・スキャン方式のような走査露光型の投影露光装置の何れにも適用できるが、以下では本発明をステッパ型の投影露光装置に適用した例につき説明する。

【0019】図1は本例のステッパ型の投影露光装置を示し、この図1において、露光光を発生する露光光源、その露光光の断面形状を整形する整形光学系、及びその露光光の照度(パルス光の場合にはパルスエネルギー)を制御する光量制御系等よりなる光源系1から射出された露光光ILは、フライアイレンズ2に入射する。露光光ILとしては、KrFエキシマレーザ光(波長248nm)、ArFエキシマレーザ光(波長193nm)等のエキシマレーザ光、YAGレーザの高調波、又は水銀ランプのi線(波長365nm)等の輝線等が使用できる。

【0020】フライアイレンズ2の射出面には、照明系の開口絞り板3が回転自在に配置され、開口絞り板3の回転軸の周りには、通常照明用の円形の開口絞り3a、複数の偏心した小開口よりなる変形照明用の開口絞り

(不図示)、内径が外径の1/2の輪帯状開口よりなる1/2輪帯絞り(不図示)、内径が外径の2/3の輪帯状開口よりなる2/3輪帯絞り3b、及び小さいコーヒールレンズファクタ(σ 値)用の小さい円形の開口絞り(不図示)等が形成されている。そして、照明制御系5が駆動モータ4を介して開口絞り板3を回転することによって、フライアイレンズ2の射出面に所望の照明系開口絞りを配置できるように構成されている。照明制御系5は、光源系1内の露光光源に供給する電力の制御や、光量制御系の減光率の制御等も行う。

【0021】フライアイレンズ2の射出面の開口絞りを通過した露光光ILの一部は、反射率が0.5%程度のビームスプリッタ7にて反射された後、集光レンズ8を介して光電検出器よりなるインテグレートセンサ9に入射し、インテグレートセンサ9の検出信号が照明制御系5に供給されている。インテグレートセンサ9の検出信号とウエハの表面での露光光の照度との関係は予め計測されていると共に、照明制御系5には、装置全体の動作を統轄制御するコンピュータよりなる主制御系6より露光光ILの照度の目標値、ウエハの目標露光量、及びレチクル上の照明領域等が設定されている。また、露光光ILとして、超高压水銀ランプのi線等が使用される場合、超高压水銀ランプにはアーク揺らぎによる照度変動があり、露光光ILとしてエキシマレーザ光が使用される場合には、エキシマレーザ光源内の励起用気体の分布むら等に起因するパルスエネルギーのばらつきがある。そこで、照明制御系5では、インテグレートセンサ9の検出信号が照度の目標値に対応したレベルになるように、光源系1内の露光光源に対する電力や光量制御系の減光率の制御等を行う。更に、露光動作中に照明制御系5では、インテグレートセンサ9の検出信号の積分値が目標露光量に対応する値になるように光源系1からの露光光ILの照射時間を制御する。

【0022】ビームスプリッタ7を透過した露光光ILは、第1リレーレンズ10A、光路折り曲げ用のミラー11、可変視野絞り(レチクルブラインド)12、第2リレーレンズ10B、及びコンデンサレンズ14を経て、レチクルRのパターン面(下面)のパターン領域を照明する。可変視野絞り12の配置面とレチクルRのパターン面とは共役であり、照明制御系5が駆動装置13を介して可変視野絞り12の開口形状を制御することによって、そのパターン面での照明領域が規定される。光源系1、フライアイレンズ2、開口絞り板3、リレーレンズ10A、10B、ミラー11、及びコンデンサレンズ14より露光用の照明光学系が構成されている。露光光ILのもとで、レチクルRの照明領域内のパターン像は、投影光学系PLを介して所定の投影倍率 β (β は例えば1/4、1/5等)でフォトリソが塗布されたウエハW上に投影される。投影光学系PLの瞳面(レチクルRのパターン面に対するフーリエ変換面)には、

開口絞り AS が配置されている。以下、投影光学系 PL の光軸 AX に平行に Z 軸を取り、Z 軸に垂直な平面内で図 1 の紙面に平行に X 軸を取り、図 1 の紙面に垂直に Y 軸を取って説明する。

【0023】この場合、レチクル R は X 方向、Y 方向、回転方向に位置決めを行うレチクルステージ 15 上に保持されている。一方、ウエハ W は Z チルトステージ 16 上に真空吸着によって保持され、Z チルトステージ 16 は、XY ステージ 17 上に固定され、XY ステージ 17 は不図示の定盤上に載置され、Z チルトステージ 16 及び XY ステージ 17 よりウエハステージが構成されている。Z チルトステージ 16 は、ウエハ W のフォーカス位置 (Z 方向の位置) 及び傾斜角を補正してウエハ W の表面を投影光学系 PL の像面に合焦させる機能を有し、XY ステージ 17 は、例えばニアモータ方式でウエハ W の X 方向、Y 方向へのステッピング、及び位置決めを行う。Z チルトステージ 16 の側面に形成されたミラー面 16a に外部のレーザ干渉計 18 よりレーザビームが照射され、ミラー面 16a に直交するミラー面にも不図示のレーザ干渉計からレーザビームが照射され、これらのレーザ干渉計によって Z チルトステージ 16 (ウエハ W) の X 座標、Y 座標が高精度に計測され、この計測結果に基づいて主制御系 6 がウエハステージ駆動系 19 を介して XY ステージ 17 の動作を制御する。露光時には、ウエハ W 上の或るショット領域への露光が終了した後、ウエハステージ内の XY ステージ 17 をステッピングさせて、次のショット領域を露光フィールドに移動して露光を行うという動作がステップ・アンド・リピート方式で繰り返されて、ウエハ W 上の各ショット領域への露光が行われる。

【0024】このようにウエハ W 上の各ショット領域への露光を行う際には、ウエハ W の表面を投影光学系 PL の像面に合わせ込む (合焦させる) 必要がある。そのため、投影光学系 PL の側面には投影光学系 PL の露光フィールド内のウエハ W の表面 (又は後述の基準マーク部材 20 の表面) の複数の計測点に、それぞれウエハ W 上のフォトレジストに対して非感光性の検出光 DL のもとでスリット像を投影する照射光学系 21A と、それらの複数の計測点からの反射光を集光することによってそれらのスリット像を再結像する受光光学系 21B とからなる斜入射方式の多点の AF センサ (以下、「AF センサ 21A、21B」と呼ぶ) が配置されている。この場合、受光光学系 21B では、それらのスリット像を例えば振動ミラーを介してそれぞれ光電検出器上に投影し、これらの光電検出器からの検出信号をフォーカス信号処理系 22 に供給する。フォーカス信号処理系 22 では、受光光学系 21B から供給される複数の検出信号をそれぞれその振動ミラーの駆動信号で同期整流してフォーカス信号を生成し、これらのフォーカス信号より対応する計測点での投影光学系 PL の像面 (合焦位置) からの各

デフォーカス量を求め、これらのデフォーカス量よりそれらの複数の計測点を近似する平面の中心でのデフォーカス量 F_w 、及びその平面の 2 次元的な傾斜角 θ_{wx} 、 θ_{wy} を算出し、これらのデフォーカス量 F_w 、及び傾斜角 θ_{wx} 、 θ_{wy} を主制御系 6 に供給する。主制御系 6 では、ウエハステージ駆動系 19 を介してサーボ方式で Z チルトステージ 16 を駆動することによって、そのデフォーカス量 F_w を目標値 (ここでは 0 とする) に収束させると共に、それらの傾斜角 θ_{wx} 、 θ_{wy} を予め計測してある目標値 θ_{wx0} 、 θ_{wy0} に収束させる。これによって、ウエハ W の表面がオートフォーカス方式、及びオートレベリング方式で投影光学系 PL の像面に合焦される。

【0025】このように多点の AF センサ 21A、21B を使用して各計測点でのデフォーカス量を高精度に計測するに際して、大気圧変動や露光光 IL の照射エネルギー等による投影光学系 PL の像面の変動量は予め数式化されているため、大気圧変動やインテグレートセンサ 9 を介して計測される露光光の照射量等に応じて主制御系 6 は、その像面の変動量 (ここではフォーカス位置の変動量 ΔIF とする) を予測する。そして、主制御系 6 ではそのように予測される像面のフォーカス位置の変動量 ΔIF に応じて、フォーカス信号処理系 22 に対して各計測点で計測されるデフォーカス量に対して $-\Delta IF$ だけのオフセットを付加させる。なお、フォーカス信号処理系 22 で計測値にオフセットを付加する代わりに、照射光学系 21A から被検面に投影するスリット像の位置を調整する等して、光学的に計測されるデフォーカス量のオフセット調整を行ってもよい。このような予測制御によって、像面の変動後も AF センサ 21A、21B の計測結果に基づいて高精度に合焦が行われる。

【0026】但し、本例では照明系の開口絞り板 3 の回転角を制御することによって、照明条件を通常の照明、小さいコヒーレンスファクタ (小 σ 値) の照明、変形照明、又は輪帯照明等に切り換えることができ、投影光学系 PL の瞳面における光強度分布に変化させることができる。これらの照明条件によっても投影光学系 PL の像面位置が微妙に変化することがある。また、予めテストプリント等によって各照明条件毎に像面の位置は計測されているが、経時変化や大気圧変化等との関係によって、像面の変動量が予め計測されている値、又は予測値から僅かにシフトする恐れもある。特に今後、より解像度を高めるために、焦点深度が浅くなるような場合には、そのような像面の変動量にも追従して合焦を行うことが望ましい。そこで、本例では、例えばウエハ若しくはレチクルの交換時、照明条件を切り換えた場合、又は定期的に以下で説明する像面計測系を用いて露光光 IL のもとでの投影光学系 PL の像面の位置を高精度に計測して、AF センサ 21A、21B の基準面のキャリブレーションを行う。

【0027】また、本例の像面計測系は、極めて短時間

にAFセンサ21A、21Bの基準面のキャリブレーションを行うことができるため、例えばウエハの交換毎にそのキャリブレーションを行うことによって、上述の予測制御を省略することも可能である。本例の像面計測系は、レチクルアライメント顕微鏡を兼用しており、且つ照明系として露光光IL用の照明光学系を用いている。本例の像面計測用として、Zチルトステージ16上のウエハWの近傍にガラス基板よりなる基準マーク部材20が固定されている。基準マーク部材20の表面はウエハWの表面と同じ高さに設定され、その表面にクロム膜等

【0028】そして、レチクルRの一方のレチクルマーク31の上方から+X方向に向けて第1の像面計測系35Aが配置され、他方のレチクルマーク33の上方から-X方向に向けて第2の像面計測系35Bが配置されている。像面計測系35A、35Bは互いに同一構成であるが、第2の像面計測系35Bは簡略化して表示している。その第1の像面計測系35Aにおいて、レチクルRのレチクルマーク31の上方に第1可動鏡筒36、及び第2可動鏡筒37がスライダ41に沿ってX方向に移動自在に配置されている。第1可動鏡筒36内には、露光用の照明光学系のコンデンサレンズ14から射出される露光光ILの光路を外側に偏向させるための、断面が平行四辺形状の光路補正部材38及び第1対物レンズ39が固定され、第2可動鏡筒37内には第2対物レンズ40が固定されている。そして、主制御系6の制御のもとでレンズ駆動系42が第1可動鏡筒36をX方向に駆動することで、第1可動鏡筒36は露光光ILの光路から

【0029】像面計測、又はレチクルアライメントを行う際には、図1に示すように露光光ILの光路上でレチクルマーク31の上方に光路補正部材38が位置するように、第1可動鏡筒36の位置が設定される。この状態で、XYステージ17を駆動することによって、図3

(a)に示すように、基準マーク部材20上の基準マーク32、34の中心がほぼ投影光学系PLの光軸AXに合致するように、基準マーク部材20が投影光学系PLの露光フィールド内に設定される。そして、図1において、光源系1からの露光光ILの照射が開始されて、コ

ンデンサレンズ14を通過した露光光ILの一部が光路補正部材38の入射面に入射し、光路補正部材38での屈折を利用して外側に偏向された露光光(これを「照明光IL1」とする)は、光路補正部材38のハーフミラー面とされた射出面38aを透過してレチクルRの第1のレチクルマーク31を囲む領域を照明する。

【0030】レチクルRのレチクルマーク31の周囲を透過した照明光IL1は、図3(a)に示すように、投影光学系PLを経て基準マーク部材20上の第1の基準マーク32を照明する。基準マーク32で反射された照明光IL1は、投影光学系PLを経てレチクルRのレチクルマーク31の近傍に集光される。露光光IL(即ち、照明光IL1)のもとで基準マーク部材20の表面が投影光学系PLの像面に合焦されているとき、即ち、投影光学系PLに関してレチクルRのパターン面と基準マーク部材20の表面とが完全に共役であるときには、照明光IL1によってレチクルRのレチクルマーク31の近傍に基準マーク32の像が最も高いコントラストで形成される。そして、基準マーク部材20の表面の像面に対するデフォーカス量が大きくなるのに応じて、レチクルR上での基準マーク32の像のコントラストが低下する。

【0031】図1に戻り、基準マーク32で反射された後、投影光学系PLを介して戻された照明光IL1、及びレチクルマーク31で直接反射された照明光IL1は、光路補正部材38の射出面(ハーフミラー面)38aで反射された後、第1対物レンズ39及び第2対物レンズ40を経て一度両マークの像を形成する。その後、照明光IL1は、光軸AX1に沿ってリレーレンズ43を経てハーフミラー44に入射し、ハーフミラー44を透過した照明光は、リレーレンズ45、及びミラー46を経て例えばCCD方式よりなるアライメント用の2次元の撮像素子47の撮像面にレチクルマーク31及び基準マーク32の像を形成する。

【0032】一方、ハーフミラー44で反射された照明光は、リレーレンズ48を経てハーフミラー49に入射し、ハーフミラー49を透過した照明光が合焦用の第1の2次元の撮像素子50の撮像面にレチクルマーク31及び基準マーク32の像を形成し、ハーフミラー49で反射された照明光が合焦用の第2の2次元の撮像素子51の撮像面にレチクルマーク31及び基準マーク32の像を形成する。この際に、レンズ駆動系42を介して第2可動鏡筒37、ひいては第2対物レンズ40の位置を調整することによって、照明光IL1のもとでレチクルRのパターン面に対して第1の撮像素子47の撮像面が共役面に設定される。この状態で第2の撮像素子50の撮像面はレチクルRのパターン面との共役面に対して後側(レチクルRから遠避かる方向)にずれた位置に配置され、第3の撮像素子51の撮像面はその共役面に対して前側(レチクルRに近付く方向)にずれた位置に配置

されている。

【0033】撮像素子47, 50, 51の各画素から読み出された撮像信号はそれぞれ画像処理演算系52に供給されている。画像処理演算系52には、AFセンサ21A, 21B及びフォーカス信号処理系22によって検出される各計測点でのデフォーカス量も、主制御系6を介して随時供給される。画像処理演算系52では、供給された撮像信号を後述のように処理して、レンズ駆動系42を介して第2対物レンズ40の位置を調整すると共に、基準マーク32の投影光学系PLの像面からのZ方向へのデフォーカス量 F_{10} 、及び基準マーク32の像に対するレチクルマーク31のX方向、Y方向への位置ずれ量 ΔX_1 , ΔY_1 を求めて主制御系6に供給する。同様に、第2の像面計測系35B内の3個の撮像素子から画像処理演算系52に供給される撮像信号に基づいて、画像処理演算系52は、第2の基準マーク34の投影光学系PLの像面からのZ方向へのデフォーカス量 F_{20} 、及び基準マーク34の像に対する第2のレチクルマーク33のX方向、Y方向への位置ずれ量 ΔX_2 , ΔY_2 を求めて主制御系6に供給する。

【0034】主制御系6では、2つの基準マーク32, 34のデフォーカス量 F_{10} , F_{20} に基づいて、例えば基準マーク部材20の表面の投影光学系PLの光軸AX上での像面からのデフォーカス量 F_{12} を算出する。この際に一例として、図3(a)に示すように、AFセンサ21A, 21Bを介して計測されるデフォーカス量に基づいてサーボ方式で基準マーク部材20の表面が投影光学系PLのそれまでに計測されている像面に合焦されている。この場合、像面計測系35A, 35Bを介して計測されるデフォーカス量 F_{12} は、AFセンサ21A, 21Bで設定されている像面の位置に対するオフセット(誤差)となる。そこで、主制御系6は、フォーカス信号処理系22に対してそのデフォーカス量 F_{12} を、各計測点でのデフォーカス量のオフセットとして設定する。これ以降、AFセンサ21A, 21Bの計測値に基づいてオートフォーカス方式、及びオートレベリング方式でZチルトステージ16を駆動することによって、ウェハWの表面は投影光学系PLの実際の像面に高精度に合焦されることになる。

【0035】なお、例えば図3(a)において、基準マーク部材20上の2つの基準マーク32, 34のデフォーカス量 F_{10} , F_{20} の差分から像面のY軸の周りの傾斜角の誤差 $\Delta \theta_{y0}$ が検出される。そこで、フォーカス信号処理系22では、傾斜角の目標値を初期値からその誤差を引いた値($= \theta_{y0} - \Delta \theta_{y0}$)とすることが望ましい。これによって、より高精度にレベリングも行われる。更に、図1では像面計測系35A, 35BがX方向に1対設けられているのみであるが、Y方向にも1対の像面計測系を配置して、基準マーク部材20上にY方向に所定間隔で1対の基準マークを形成しておき、これら

の基準マークのデフォーカス量の差分に基づいて、X軸の周りの傾斜角の目標値の補正(キャリブレーション)を行うようにしてもよい。

【0036】更に主制御系6は、例えばレチクルRの交換時には、画像処理演算系52から供給されるレチクルマーク31のX方向、Y方向への位置ずれ量 ΔX_1 , ΔY_1 、及びレチクルマーク33のX方向、Y方向への位置ずれ量 ΔX_2 , ΔY_2 に基づいて、レチクルステージ15を駆動することによって、それらの位置ずれ量が全体として(例えば自乗和が)最小で、且つ2つのレチクルマーク31, 33で対称となるようにレチクルRの位置を調整する。これによって、基準マーク部材20(ウェハステージ)に対するレチクルRの位置合わせ、即ちレチクルアライメントが行われる。

【0037】次に、本例の一方の像面計測系35Aの構成につき詳細に説明する。まず、図2(a)は、図1の像面計測系35A中の光路補正部材38付近の構成を示す拡大図であり、この図2(a)に示すように、光路補正部材38がレチクルRのレチクルマーク31上に設定された状態では、光路補正部材38を通過した照明光IL1(露光光)の光路は、入射する露光光ILに対して+X方向に δX だけシフトしている。この場合、レチクルマーク31は、通常の露光時の露光光ILによる照明領域24に対して+X方向の外側に形成されている。従って、本例のように光路補正部材38を使用することによって、露光光ILの照明条件と全く同じ照明条件でレチクルマーク31を照明できるのみならず、露光用の照明光学系による照明領域24をレチクルマーク31を含む領域まで拡大する必要がなく、露光用の照明光学系

の大型化が防止できる利点がある。

【0038】また、図2(b)は、図1のレチクルRを示す平面図であり、この図2(b)に示すように、レチクルRのパターン面(下面)には枠状の遮光帯23に囲まれてパターン領域PAが設定され、パターン領域PA内に回路パターンの原版パターンが形成されている。レチクルRの中心が図1の投影光学系PLの光軸AX付近にある状態では、投影光学系PLの有効照明領域IFは遮光帯23の内側のパターン領域PAを覆うように設定され、露光用の照明光学系による露光光ILの照明領域24(図2(a)参照)の輪郭は遮光帯23中に設定される。そして、遮光帯23の+X方向側に隣接してY方向に伸びるラフアライメントマーク53RAが形成され、このラフアライメントマーク53RAを垂直に2等分するようにX方向に伸びるラフアライメントマーク53RBが形成され、ラフアライメントマーク53RA, 53RBの交点を囲むようにファインアライメントマーク(以下、単に「アライメントマーク」と呼ぶ)RMRが形成されている。このアライメントマークRMRの左下側にレチクルRの合焦用マーク54Rが形成され、アライメントマークRMR、及び合焦用マーク54Rより

第 1 のレチクルマーク 3 1 が構成されている。この第 1 のレチクルマーク 3 1 と対称に、遮光帯 2 3 の - X 方向側に配置された第 2 のレチクルマーク 3 3 は、アライメントマーク RML 及び合焦用マーク 5 4 L より構成され、アライメントマーク RML の中心で交差するようにラフアライメントマークも形成されている。

【 0 0 3 9 】 図 2 (c) は第 1 のレチクルマーク 3 1 を示す拡大図であり、この図 2 (c) において、アライメントマーク RMR は 2 重の枠状に反射膜を形成したパターンであり、合焦用マーク 5 4 R は、2 種類の細長い反
10 射パターンを X 方向に所定の規則で配列した X 軸の合焦用マーク 5 4 R X、及びこの合焦用マーク 5 4 R X を 9 0 ° 回転した Y 軸の合焦用マーク 5 4 R Y より構成されている。そして、図 5 (b) に拡大して示すように、合焦用マーク 5 4 R X は、投影光学系 P L の解像限界に近い線幅の反射パターンを X 方向にその線幅と同じ間隔で配列したライン・アンド・スペースパターン 5 8 C と、このパターン 5 8 C の両側に形成されたデフォーカスしてもコントラスト低下がない反射性の太いパターン 5 8 A、5 8 B とから構成されている。第 2 のレチクルマーク 3 3 も同じ構成である。

【 0 0 4 0 】 次に、図 3 (a) は、既に説明したようにレチクルマーク 3 1、3 3 とほぼ共役な位置にそれぞれ基準マーク部材 2 0 の基準マーク 3 2、3 4 が設定された状態を示し、基準マーク 3 2、3 4 は投影光学系 P L の光軸 A X に関してほぼ対称な位置に形成されている。図 3 (b) は、図 3 (a) における基準マーク部材 2 0 の平面図を示し、この図 3 (b) において、第 1 の基準
20 マーク 3 2 は、アライメント用の枠状の基準マーク FMR、及びその右上の合焦用マーク 5 5 R から構成され、第 2 の基準マーク 3 4 も同様にアライメント用の基準マーク FML 及び合焦用マーク 5 5 L から構成されている。

【 0 0 4 1 】 図 3 (c) は一方の基準マーク 3 2 を示す拡大平面図であり、この図 3 (c) に示すように、アライメント用の基準マーク FMR は、X 方向に所定間隔で配置された 3 本の細長い反射パターン 5 6 X 1、5 6 X 2 と、Y 方向に所定間隔で配置された 3 本の細長い反射
30 パターン 5 6 Y 1、5 6 Y 2 とから構成されている。反射パターン 5 6 X 1、5 6 X 2 及び 5 6 Y 1、5 6 Y 2 の間隔は、図 2 (c) のレチクルマーク 3 1 のアライメントマーク RMR の像の幅より広く設定されている。また、合焦用マーク 5 5 R は、X 軸の合焦用マーク 5 5 R X、及びこの合焦用マーク 5 5 R X を 9 0 ° 回転した Y 軸の合焦用マーク 5 5 R Y より構成され、X 軸の合焦用マーク 5 5 R X は、図 2 (c) に示すレチクル R の X 軸の合焦用マーク 5 4 R X の投影光学系 P L を介した投影像と同じ形状であり、解像限界に近い線幅のライン・アンド・スペースパターンと、その両側の太い反射パター
40 ンとから構成されている。そして、像面計測を行う場合

には、基準マーク部材 2 0 からの反射光によって、図 2 (c) に示すように、レチクル R の合焦用マーク 5 4 R X の右側の位置 A 1、及び合焦用マーク 5 4 R Y の上側の位置 A 2 にそれぞれ図 3 (c) の基準マーク部材 2 0 の合焦用マーク 5 5 R X 及び 5 5 R Y の像が投影される。

【 0 0 4 2 】 次に、図 4 は図 1 の像面計測系 3 5 A の結像系を簡略化して示し、この図 4 において、図 1 の第 1 対物レンズ 3 9、第 2 対物レンズ 4 0、及びリレーレン
50 ズ 4 3 が 1 つの対物レンズ 3 9 A で表されている。この場合、照明光 I L 1 (露光光) のもとで、対物レンズ 3 9 A 及びリレーレンズ 4 5 に関してレチクル R のパターン面 (レチクルマーク 3 1 の形成面) と共役な面を共役面 5 7 A として、対物レンズ 3 9 A 及びリレーレンズ 4 8 に関してレチクル R のパターン面と共役な面を共役面 5 7 B、5 7 C とすると、本例では対物レンズ 3 9 A の調整によって、共役面 5 7 A が図 1 のアライメント用の撮像素子 4 7 の撮像面 4 7 a 上に設定され、撮像素子 4 7 の撮像信号を用いて基準マーク 3 2 の像に対するレチクルマーク 3 1 の位置ずれ量が検出される。この状態で、共役面 5 7 B の後側に所定の間隔 $k \cdot \Delta 2$ (詳細後述) の位置に図 1 の合焦用の第 1 の撮像素子 5 0 の撮像面 5 0 a が設定され、共役面 5 7 C の前側に所定の間隔 $k \cdot \Delta 1$ の位置に合焦用の第 2 の撮像素子 5 1 の撮像面 5 1 a が設定され、撮像素子 5 0、5 1 の撮像信号に基づいて基準マーク部材 2 0 の表面の像面からのデフォーカス量が検出される。

【 0 0 4 3 】 本例では対物レンズ 3 9 A 及びリレーレンズ 4 5 よりなる結像系、及び対物レンズ 3 9 A 及びリレーレンズ 4 8 よりなる結像系の開口数はそれぞれ投影光学系 P L の開口数と同程度に設定されている。更に、対物レンズ 3 9 A 及びリレーレンズ 4 5 よりなる結像系の倍率 (レチクル R から撮像素子への倍率) は例えば 2 0 ~ 3 0 倍に設定され、対物レンズ 3 9 A 及びリレーレンズ 4 5 よりなる結像系の倍率に対して、対物レンズ 3 9 A 及びリレーレンズ 4 8 よりなる結像系の倍率は 1 0 倍程度高く設定されている。

【 0 0 4 4 】 この際に、基準マーク部材 2 0 の表面 (基準マーク 3 2 の形成面) が投影光学系 P L に関してレチクル R のパターン面と共役であれば、共役面 5 7 A ~ 5 7 C はそれぞれ基準マーク部材 2 0 の表面とも共役であり、撮像面 5 0 a 及び 5 1 a での基準マーク 3 2 の像のコントラストは同程度に低下している。しかしながら、点線で示すように、基準マーク部材 2 0 の表面が投影光学系 P L の光軸 A X に沿ってレチクル R 側に F だけデフォーカスすると、基準マーク 3 2 からの照明光 I L 1 は、共役面 5 7 B、5 7 C よりも後側に基準マーク 3 2 の像を形成するため、撮像面 5 0 a での基準マーク 3 2 の像のコントラストは高くなり、撮像面 5 1 a での基準
50 マーク 3 2 の像のコントラストは低くなる。このよう

に、基準マーク 2 0 のデフォーカス量 F によって撮像面 5 0 a 及び 5 0 b の基準マーク 3 2 の像のコントラストが異なることを利用して、本例では基準マーク部材 2 0 を光軸 AX 方向に移動することなく、直接にそのデフォーカス量 F を検出する。

【0045】次に、本例の像面計測系 3 5 系によるデフォーカス量の検出方法、及びレチクルマークの位置ずれ量の検出方法の一例につき説明する。図 5 (a) は、図 1 の像面計測系 3 5 A によるレチクル R のパターン面の観察視野を示し、この図 5 (a) において、図 2 (c) に示すレチクルマーク 3 1 中のアライメントマーク RM R を囲むように、図 3 (c) に示す基準マーク 3 2 中のアライメント用の基準マーク FMR の像 (これも FMR で表す) が投影されている。これと共に、アライメントマーク RM R の左下方のレチクル R の合焦用マーク 5 4 R の間に、図 3 (c) に示す基準マーク 3 2 の合焦用マーク 5 5 R の像 (これも 5 5 R で示す) が投影されている。そして、図 1 のアライメント用の撮像素子 4 7 の観察視野は基準マーク像 FMR を囲む領域に設定され、図 1 の画像処理演算系 5 2 では撮像素子 4 7 から供給される撮像信号より、基準マーク像 FMR 及びアライメントマーク RM R を X 方向に横切る矩形領域 $AIFX$ 内の像を X 方向に読み出して得られる撮像信号 SAX (図 5 (a 1) 参照)、及び基準マーク像 FMR 及びアライメントマーク RM R を Y 方向に横切る矩形領域 $AIFY$ 内の像を Y 方向に読み出して得られる撮像信号 SAY (図 5 (a 2) 参照) を抽出する。

【0046】また、図 1 の合焦用の撮像素子 5 0 及び 5 1 の観察視野は、それぞれ図 5 (a) の合焦用マーク 5 4 R 及び合焦用マーク像 5 5 R を囲む小さい矩形領域 B に設定されている。但し、本例では既に説明したように、撮像素子 5 0、5 1 上には撮像素子 4 7 上に比べて約 10 倍に拡大された像が投影されるため、撮像素子 5 0、5 1 ではそれぞれ図 5 (a) 内の矩形領域 B を拡大した図 5 (b) のような像が観察される。

【0047】図 5 (b) において、レチクルマーク 3 1 側の X 軸の合焦用マーク 5 4 RX の $+X$ 方向に隣接して基準マーク 3 2 側の合焦用マーク 5 5 RX の像 (これも「合焦用マーク 5 5 RX 」と呼ぶ) が形成され、レチクルマーク 3 1 側の Y 軸の合焦用マーク 5 4 RY の $+Y$ 方向に隣接して基準マーク 3 2 側の合焦用マーク 5 5 RY の像 (これも「合焦用マーク 5 5 RY 」と呼ぶ) が形成されている。レチクルマーク側の合焦用マーク 5 4 RX 及び 5 4 RY は、既に説明したように 2 本の太い反射パターン 5 8 A 、5 8 B の間に投影光学系 PL の解像限界に近いライン・アンド・スペースパターン 5 8 C が形成されたマークであり、基準マーク側の合焦用マーク 5 5 RX 及び 5 5 RY も、2 本の太い明パターン 5 9 A 、5 8 B の間に投影光学系 PL の解像限界に近いライン・アンド・スペースパターン 5 9 C が配置されたマークであ

る。

【0048】図 1 の画像処理演算系 5 2 では合焦用の撮像素子 5 0 から供給される撮像信号より、 X 軸の合焦用マーク 5 4 RX 及び 5 5 RX を X 方向に横切る矩形領域 $FIFX$ 内の像を X 方向に読み出して平均化して得られる撮像信号 $FX1$ (図 5 (b 1) 参照)、並びに Y 軸の合焦用マーク 5 4 RY 及び 5 5 RY を Y 方向に横切る矩形領域 $FIFY$ 内の像を Y 方向に読み出して平均化して得られる撮像信号 $FY1$ (図 5 (b 2) 参照) を抽出する。同様に画像処理演算系 5 2 では、合焦用の撮像素子 5 1 から供給される撮像信号より、矩形領域 $FIFX$ 内の像の撮像信号 $FX2$ 、及び矩形領域 $FIFY$ 内の像の撮像信号 $FY2$ を抽出する。このとき、図 1 のレチクル R のパターン面、及び基準マーク部材 2 0 の表面の共役面が撮像素子 5 0、5 1 の撮像面からデフォーカスした場合、図 5 (b 1) に示すように、太い反射パターン 5 8 A 、5 8 B の像 5 8 AP 、5 8 BP 及び太い明パターン 5 9 A 、5 9 B の像 5 9 AP 、5 9 BP に対応する撮像信号のコントラストはほぼ一定で低下しないのに対して、ライン・アンド・スペースパターン 5 8 C 、5 9 C の像 5 8 CP 、5 9 CP に対応する撮像信号のコントラストは低下することになる。

【0049】本例ではそのコントラストを光量に影響されことなく正確に評価するため、例えば、 X 軸の合焦用マーク 5 4 RX 、又は 5 5 RX については、ライン・アンド・スペースパターン 5 8 C 、又は 5 9 C の像の撮像信号の振幅 ($=A$ とする) を、それぞれ太い反射パターンの像 5 8 AP 、5 8 BP 、又は太い明パターンの像 5 9 AP 、5 9 BP に対応する撮像信号の高さ ($=RL$ 、 RR とする) の和で規格化した値をコントラスト CX とみなす。即ち、次式が成立している。 Y 軸の合焦用マーク 5 4 RY 、5 5 RY の像のコントラスト CY についても同様である。

$$【0050】CX = A / (RL + RR) \quad (1)$$

具体的に図 1 の画像処理演算系 5 2 において、図 5 (b) の観察視野 $FIFX$ 内の合焦用マーク 5 4 RX の像について、一方の撮像素子 5 0 の撮像信号 $FX1$ を用いてコントラストを計算する具体例につき図 6 を参照して説明する。図 6 (a) ~ (c) は、図 1 において第 2 対物レンズ 4 0 を駆動して、レチクル R のレチクルマーク 3 1 の結像位置を次第に変化させた場合の、図 5 (b) の合焦用マーク 5 4 RX の像に対応する撮像信号 $FX1$ を示し、図 6 (a) ~ (c) の横軸は撮像面での位置をレチクル R 上での X 座標に換算した値、それらの縦軸はその X 座標での撮像信号 $FX1$ のレベルを表している。まず、レチクルマーク 3 1 の結像位置が図 4 の撮像素子 5 0 の撮像面 5 0 a の手前にあるときには、図 6 (a) に示すように、太い反射パターンの像 5 8 AP 、5 8 BP に対応する撮像信号の背景部に対する高さ $R1L$ 、 $R1R$ 、及びライン・アンド・スペースパターンの

像 58CP に対応する撮像信号の振幅 $A1$ を (1) 式に代入することによって、レチクルマーク 31 中の合焦用マーク 54RX の像のコントラスト $CX1$ は、 $A1 (R1L + R1R)$ となる。

【0051】次に、レチクルマーク 31 の結像位置が撮像面 50a に近付くと、図 6 (b) に示すように、太い反射パターン像 58AP、58BP に対応する撮像信号の高さ RmL 、 RmR はあまり変わらず、ライン・アンド・スペースパターン像 58CP の振幅 Am は大きくなるため、高さ RmL 、 RmR 及び振幅 Am を (1) 式に代入して得られるコントラスト CXm は、 $CX1$ より大きくなる。その後、レチクルマーク 31 の結像位置が撮像面 50a を超えると、図 6 (c) に示すように、太い反射パターン像 58AP、58BP に対応する撮像信号の高さ RnL 、 RnR はあまり変わらず、ライン・アンド・スペースパターン像 58CP の振幅 An は小さくなるため、高さ RnL 、 RnR 及び振幅 An を (1) 式に代入して得られるコントラスト CXn は、 CXm より小さくなる。

【0052】実際には結像系のサジタル面とメリジオナル面との結像特性の相違の影響を軽減するために、第 2 対物レンズ 40 の各駆動位置において、同様の方法で Y 軸の合焦用マーク 54RY の像のコントラスト $CY1$ 、 CYm 、 CYn をも検出し、X 軸及び Y 軸の合焦用マーク 54RX、54RY の像のコントラストの平均値 $C1$ 、 Cm 、 Cn を各駆動位置でのレチクルマーク 31 の像のコントラスト C とする。

【0053】図 7 (a) の曲線 60A は、図 1 の第 2 対物レンズ 40 を光軸に沿って駆動して、レチクルマーク 31 の像の結像位置 (合焦位置) を変化させた場合の、(1) 式に基づいて算出されるレチクルマーク 31 の像のコントラスト C の変化を示し、この図 7 (a) において、横軸は第 2 対物レンズ 40 の駆動位置 T である。その曲線 60A で示すように、コントラスト C は駆動位置 T が所定値のときに最大値となるように山型に変化し、図 6 (a) ~ (c) より得られるコントラスト $C1 \sim Cn$ に対応する駆動位置 T はそれぞれ位置 $F1 \sim Fn$ である。なお、図 7 (a) は、図 3 (c) のレチクルマーク 31 の像のコントラストの変化を示しているが、図 1 の Z 軸ステージ 16 を駆動して基準マーク部材 20 の表面のフォーカス位置 (投影光学系 PL の光軸 AX 方向の位置) を変化させた場合にも、基準マーク 32 中の図 5 (b) に示すライン・アンド・スペースパターン 59C の像の振幅より得られるコントラストは、図 7 (a) の曲線 60A と同様にそのフォーカス位置 Z に関して山型に変化する。この場合の図 7 (a) の横軸はそのフォーカス位置 Z である。このフォーカス位置 Z として、図 1 の AF センサ 21A、21B を介して計測されるデフォーカス量 F を使用しても、同様の曲線が得られる。

【0054】次に、図 7 (a) の関係を実際に求めて、

撮像素子 50、51 等の位置を調整する場合の動作につき図 11 のフローチャートを参照して説明する。この調整は、例えば投影露光装置の組立調整時に実行される。この場合、図 4 のレチクルマーク 31 の像の撮像素子 50、51 の撮像面 50a、51a の近傍での焦点深度を $\pm 10 \mu m$ 程度として、そのレチクルマーク 31 の像の位置を光軸に沿って $0.5 \mu m$ 移動するための第 2 対物レンズ 40 の駆動量を a とする。また、図 1 において、スライダ 41 には第 2 可動鏡筒 37 の位置を検出するエンコーダが組み込まれており、初期状態ではこのエンコーダで計測される第 2 可動鏡筒 37 (第 2 対物レンズ 40) の駆動位置 T が 0 (原点) のときに、図 4 においてレチクルマーク 31 との共役面 57B、57C に合焦用の撮像素子 50、51 の撮像面 50a、51a がほぼ合致するように位置調整が行われている。

【0055】このような状態で、図 11 のステップ 101 において、計測用のパラメータ n の初期値を -10 に設定し、ステップ 102 において、図 1 の像面計測系 35A の第 2 対物レンズ 40 の駆動位置 T を原点に対して $a \cdot n$ に設定する。最初のステップでは、撮像面 50a、50b に対してレチクルマーク 31 の像はほぼ $5 \mu m$ 手前に形成される。そして、ステップ 103 において、合焦用の撮像素子 50、51 の撮像信号をそれぞれ画像処理演算系 52 で処理して、(1) 式に基づいてレチクルマーク 31 の X 軸の合焦用マーク 54RX の像のコントラスト CX 、及び Y 軸の合焦用マーク 54RY の像のコントラスト CY を算出する。その後、ステップ 104 でパラメータ n に 1 を加算した後、ステップ 105 でパラメータ n の値が 10 を超えたかどうかを判定し、 $n \leq 10$ であるときにはステップ 102 に戻って、第 2 対物レンズ 40 の駆動位置 T を前回の位置に対して a だけずらした後、ステップ 103 に移行して、撮像素子 50、51 の撮像信号よりそれぞれレチクルマーク 31 の X 軸の合焦用マーク 54RX の像のコントラスト CX 、及び Y 軸の合焦用マーク 54RY の像のコントラスト CY を算出する。この動作を第 2 対物レンズ 40 の駆動位置が $10 \cdot a$ となるまで、即ち撮像面 50a、50b に対してレチクルマーク 31 の像がほぼ $5 \mu m$ 後側に形成されるまで繰り返し、ステップ 105 でパラメータ n が 10 を超えたときに動作はステップ 106 に移る。

【0056】そして、ステップ 106 において、第 2 対物レンズ 40 の各駆動位置 T 毎に、合焦用の第 1 の撮像素子 50 の検出信号に基づいてステップ 103 で算出されたレチクルマーク 31 の像の X 軸及び Y 軸のコントラスト CX 、 CY の平均値、即ちコントラスト C を算出し、駆動位置 T の関数としてコントラスト C を表す。このように駆動位置 T の関数としてコントラスト C を表す曲線を、図 7 (a) の曲線 60A であるとする。同様に、第 2 対物レンズ 40 の各駆動位置 T 毎に、合焦用の第 2 の撮像素子 51 の検出信号に基づいてステップ 10

3で算出されたX軸及びY軸のコントラストを平均化することによって、レチクルマーク31の像のコントラストCを求める。そして、駆動位置Tの関数としてそのコントラストCを表す曲線を、図7(a)の曲線60Aと重ねて曲線60Bで示し、以降の説明では曲線60A、60Bとする。

【0057】次に、ステップ107において、曲線60A、60Bを用いてレチクルマーク31の像のコントラストCが最も高くなるときの第2対物レンズ40の駆動位置T（これも「ベストフォーカス位置」と呼ぶ）を決定する。このために最も簡単な方法は、図7(a)のコントラストCを表す曲線60A、60Bの最大点CBでの駆動位置Tを求めることである。ところが、この方法では曲線60A、60Bがベストフォーカス位置に関して左右対称でない場合に、計測誤差が生ずる恐れがある。

【0058】そこで、本例では、予めライン・アンド・スペースパターン像を検出できる設計上での最低のコントラストをCLとして、このときにコントラストがCL以上となる第2対物レンズ40の駆動範囲（これも「焦点深度」と呼ぶ）の最小値DOFを定めておく。そして、図7(b)に示すように、横軸に平行な直線62と曲線60A（又は60B）との交点62a、62bを求め、これらの交点62a、62bの間隔がその焦点深度DOFとなるようにその直線62のコントラストCを定める。この際に、直線62のコントラストCが設計上の最小値CLより小さくなる場合には、コントラストCがその最小値CL以上となるように像面計測系35Aの光学系の調整を行う。その後、交点62a、62bの中点での駆動位置Tを、レチクルマーク31の像のコントラストが実質的に最も高くなるときの第2対物レンズ40のベストフォーカス位置FCAとすればよい。同様に、所定の焦点深度DOFを確保する条件で他方の曲線60Bより決定されるベストフォーカス位置をFCBとする。なお、曲線60A、60Bを駆動位置Zに関して2次、又は3次以上の曲線で近似し、これらの曲線と直線62との交点よりベストフォーカス位置FCA、FCBを決定してもよい。

【0059】次に、図4における撮像面50a、51aの共役面57B、57Cからのシフト量 $k \cdot \Delta 2$ 、 $k \cdot \Delta 1$ を決定するために、ステップ108に移行して、図7(a)の曲線60A、60Bの駆動位置Tに対する勾配（傾斜角）が最大になる点を決定する。これは、駆動位置Tの変化に対して最も高感度なデータを使用することによって、高精度にベストフォーカス位置に対する第2対物レンズ40のずれ量を決定するためである。このために、図1の画像処理演算系52では曲線60A、60Bを駆動位置Tで微分する。なお、実際には例えばデジタルデータの差分演算が実行される。

【0060】図7(c)の曲線63Aは、図7(a)の

曲線60Aを駆動位置Tで微分した結果を示し、図7

(c)の縦軸は微分値 dC/dT である。この場合、曲線63Aの勾配の絶対値が最大となる点では微分値 dC/dZ が極大、又は極小となるため、図7(c)の曲線63Aが極大値及び極小値を取るときの駆動位置Tの値STA及びSBAを求める。同様に、図7(a)の曲線60Bを微分して図7(c)の曲線63Bを求め、この曲線63Bが極大値を取る駆動位置STB、及び極小値を取る駆動位置SBBを決定する。なお、図7(c)には、ステップ107で焦点深度DOFに基づいて決定されたベストフォーカス位置FCA、FCBも表示されている。

【0061】次に、ステップ109に移行して、合焦用の第1の撮像素子50に対応する曲線60Aから求められるベストフォーカス位置FCAと、微分値 dC/dT が極大値を取るときの駆動位置STAとの差分を $\Delta 2$

($\Delta 2$ の符号は正)として、合焦用の第2の撮像素子51に対応する曲線60Bから求められるベストフォーカス位置FCBと、微分値 dC/dT が極小値を取るときの駆動位置SBBとの差分を $-\Delta 1$ ($\Delta 1$ の符号は正)とする。即ち、次式が成立している。

$$【0062】-\Delta 1 = FCB - SBB \quad (2)$$

$$+\Delta 2 = FCA - STA \quad (3)$$

更に、第2対物レンズ40の駆動位置Tのシフト量 ΔT に対する、レチクルマーク31の像の移動量 ΔP の比の値をkとする($k = \Delta P / \Delta T$)。そして、上述のように求めた差分 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ を用いて、図4に示すように一方の撮像素子50の撮像面50aを共役面57B、即ち第2対物レンズ40がベストフォーカス位置FCAにあるときの像面に対して $k \cdot \Delta 2$ だけ後側に設定し、他方の撮像素子51の撮像面51aを共役面57C、即ち第2対物レンズ40がベストフォーカス位置FCBにあるときの像面に対して $k \cdot \Delta 1$ だけ前側に設定する。これは、初期状態に対して、撮像面50a及び51aをそれぞれ $k \cdot \Delta 2$ 及び $k \cdot \Delta 1$ だけずらすことを意味し、これによって撮像素子50、51の位置調整が完了する。この状態で、図1の第2対物レンズ40の駆動位置Tを0(原点)に設定し、且つアライメント用の撮像素子47の撮像面のレチクルマーク31との共役面に設定する。このためには、撮像素子47の撮像面を光軸に沿って前後に移動しながらそれぞれレチクルマーク31中の合焦用マーク54RX、54RY(又はアライメントマークRMR)の像のコントラストを検出し、コントラストが最も高くなる位置に撮像素子47を固定すればよい。

【0063】次に、このように位置が固定された撮像素子47、50、51を用いて、AFセンサ21A、21Bのキャリブレーション時、又はレチクルRのアライメント時にデフォーカス量の検出、又はアライメントマークの位置ずれ量の検出を行うための動作の一例につき説

明する。そのためには予め例えばレチクルの交換毎に、図 1 の第 2 対物レンズ 40 の駆動位置 T を原点を含む所定範囲で変化させ、各駆動位置 T で合焦用の撮像素子 50、51 の撮像信号を処理することによって、再度レチクルマーク 31 の像のコントラスト C を検出しておく。

【0064】図 8 (a) の曲線 64 B は、図 1 の第 2 対物レンズ 40 の駆動位置 T の原点からのシフト量 ΔT に対して、撮像素子 50 の撮像信号から得られるコントラスト C の変化を示し、同様に曲線 64 A はそのシフト量 ΔT に対して撮像素子 51 の撮像信号から得られるコン

$$-\Delta 1 (=FCB-SBB) \leq \Delta T \leq \Delta 2 (=FCA-STA) \quad (4)$$

そして、曲線 64 B 及び 64 A をそれぞれコントラスト C から (4) 式を満たすシフト量 ΔT を決定するための関数 $\Delta T = g(C)$ 、及び $\Delta T = f(C)$ で近似し、これらの関数 $\Delta T = g(C)$ 、及び $\Delta T = f(C)$ を図 1 の画像処理演算系 52 の記憶部に記憶する。この場合、曲線 64 B、64 A はそれぞれシフト量 ΔT の全範囲ではコントラスト C に関して 2 価関数で表されるが、シフト量 ΔT が (4) 式を満たす範囲内であれば 1 価関数で表され、この 1 価関数が $\Delta T = g(C)$ 、及び $\Delta T = f(C)$ である。また、像面計測系 35 A の結像系は 20 ～30 倍程度以上の拡大系であり、撮像素子 47、50、51 付近でのレチクルマーク 31 の像の焦点深度はレチクル R のパターン面付近での焦点深度 (より正確には焦点深度に対応するレチクル R の移動量) よりかなり大きいため、振動等による撮像素子 47、50、51 の位置ずれの影響はレチクル R の位置ずれの影響よりはるかに小さく無視できる程度である。また、撮像素子 47、50、51 は同一の支持部材に固定されており、相互の位置ずれ量も無視できる程度である。従って、レチクル R のパターン面の Z 方向への変動によるレチクルマーク 31 の像のデフォーカス量を撮像素子 50、51 の撮像信号に基づいて検出し、この結果より第 2 対物レンズ 40 の駆動位置 T を補正することによって、レチクルマーク 31 とアライメント用の撮像素子 47 の撮像面とを共役に維持することが可能である。

【0066】そこで、図 1 の第 2 対物レンズ 40 のシフト量 ΔT を 0 にした状態で、図 8 (a) の曲線 64 B 及び 64 A のそれぞれのコントラスト C の値 CBA、CBB を読み取る。この際に、関数 $g(C)$ 、 $f(C)$ に対して、 $\Delta T = g(CBA) = 0$ 、 $\Delta T = f(CBB) = 0$ の関係が成立している。その後、AF センサ 21 A、21 B のキャリブレーション、又はレチクル R のアライメントを行う場合には、画像処理演算系 52 は先ず第 2 対物レンズ 40 のシフト量 ΔT を 0 に設定した後、合焦用の撮像素子 50 及び 51 の撮像信号を処理して、それぞれレチクルマーク 31 の像のコントラスト C の値 CA 及び CB を求める。

【0067】図 8 (b) は、この場合のシフト量 ΔT と検出されるレチクルマーク 31 の像のコントラスト C と

トラスト C を示している。曲線 64 B 及び 64 A は、それぞれ原点でピークとなる山型の曲線 64 を $-\Delta T$ 方向に $\Delta 1$ 、 $+\Delta T$ 方向に $\Delta 2$ だけ移動した曲線である。それらの曲線 64 B、64 A より再び、ベストフォーカス位置 FCA、FCB とそれらの曲線 64 B、64 A の微分値が極大又は極小となる位置 STA、SBB との差分 $\Delta 2$ 、 $-\Delta 1$ を決定し、第 2 対物レンズ 40 のシフト量 ΔT は、次の範囲で有効な量であるとする。

【0065】

の関係を示し、図 8 (b) において、縦軸のコントラスト C 上に撮像素子 50、51 に対応するコントラスト CB、CA が表示されている。次に、画像処理演算系 52 は、図 8 (a) で求めた関数 $\Delta T = g(C)$ のコントラスト C として CB を代入し、関数 $\Delta T = f(C)$ のコントラスト C として CA を代入することによって、それぞれレチクルマーク 31 の像のデフォーカス量に対応する第 2 対物レンズ 40 のシフト量 $g(CB)$ 及び $f(CA)$ を求め、更に次式よりこれらのシフト量の平均値 ΔT を求める。

【0068】

$$\Delta T = \{f(CA) + g(CB)\} / 2 \quad (5)$$

これは、例えばレチクル R の Z 方向への変位等によって、図 1 の第 2 対物レンズ 40 のシフト量 ΔT に換算して ΔT に相当するレチクルマーク 31 の像のデフォーカス量が発生していることを意味する。そこで、その第 2 対物レンズ 40 を $-\Delta T$ 、だけシフトさせることによって、像面計測系 35 A においてレチクルマーク 31 の像に対する合焦を行うことができる。即ち、アライメント用の撮像素子 47 の撮像面にレチクルマーク 31 の像を合焦させることができると共に、合焦用の撮像素子 50 及び 51 の撮像面に対してそれぞれ $k \cdot \Delta 2$ 及び $k \cdot \Delta 1$ だけ離れた位置にレチクルマーク 31 の像を形成できる。

【0069】次に、像面計測系 35 A を用いて図 1 の基準マーク部材 20 上の基準マーク 32 の投影光学系 PL の像面からのデフォーカス量を検出するための動作の一例につき説明する。このためには、例えばレチクルの交換時にそのデフォーカス量と基準マーク 32 の像のコントラストとの関係を求めておく。即ち、例えばレチクルの交換時に、AF センサ 21 A、21 B を介して基準マーク 32 のデフォーカス量を計測しながら、図 1 の合焦用の撮像素子 50、51 からの撮像信号に (1) 式と同様の計算式を適用して、図 3 (c) の基準マーク 32 の X 軸の合焦用マーク 55 RX、及び Y 軸の合焦用マーク 55 RY の像のコントラストの平均値 (以下、「基準マーク 32 の像のコントラスト」と呼ぶ) C を検出する。そして、基準マーク部材 20 のフォーカス位置 Z (デフォーカス量) を変化させながら基準マーク 32 の像のコ

ントラストCを検出すると、フォーカス位置ZとコントラストCとの関係は図7(a)の曲線60A、60Bのように、ベストフォーカス位置で最大値となるように山型に変化する。この場合の図7(a)の横軸はフォーカス位置Zとなる。なお、このような特性を計測する際には、予め第2対物レンズ40の駆動位置Tを調整して、レチクルマーク31の形成面との共役面と撮像素子50、51の撮像面との関係が図4の状態となるようにしておく。即ち、像面計測系35Aに対してレチクルマーク31の像を合焦させておく。

【0070】図9(a)は、このようにして計測される基準マーク32の像のコントラストの変化を示し、この図9(a)において、横軸は図1のAFセンサ21A、21Bを介して検出される基準マーク32の形成面のデフォーカス量F(それまでに計測されている像面からのずれ量)であり、縦軸はそのデフォーカス量Fに対応するコントラストCである。また、曲線65B及び65Aはそれぞれ、合焦用の第1の撮像素子50及び第2の撮像素子51の撮像信号より検出されるコントラストCを示す。この場合にも図7(b)、(c)と同様にして、画像処理演算系52では曲線65B及び65Aについてそれぞれ、所定の焦点深度DOFが得られるときのデフォーカス量Fの範囲の中点をベストフォーカス位置FA、FBとして、曲線65B及び65Aの微分値 dC/dF がそれぞれ極大及び極小となるときにデフォーカス量SA及びSBを検出する。そして、次のようにデフォーカス量FAとSAとの差分をF2として、デフォーカス量FBとSBとの差分をF1とする。

$$【0071】F2 = FA - SA \quad (6)$$

$$-F1 = FB - SB \quad (7)$$

そして、AFセンサ21A、21Bで計測されるデフォーカス量Fは、次の範囲で有効な量であるとする。

$$-F1 \leq F \leq F2 \quad (8)$$

更に、曲線65B及び65AをそれぞれコントラストCから(8)式を満たすデフォーカス量Fを決定するための関数 $F = i(C)$ 、及び $F = h(C)$ で近似し、これらの関数 $F = i(C)$ 、及び $F = h(C)$ を画像処理演算系52の記憶部に記憶する。この場合にも、曲線65B、65Aはそれぞれデフォーカス量Fの全範囲ではコントラストCに関して2価関数で表されるが、デフォーカス量Fが(8)式を満たす範囲内であれば1価関数で表され、この1価関数が $F = i(C)$ 、及び $F = h(C)$ である。その後、例えば図1のZチルトステージ16を駆動して、AFセンサ21A、21Bで検出される基準マーク32付近でのデフォーカス量Fを0にした状態で、図9(a)の曲線65B及び65AのそれぞれのコントラストCの値CBA、CBBを読み取る。この際には、関数 $i(C)$ 、 $h(C)$ に対して、 $F = i(CBA) = 0$ 、 $F = h(CBB) = 0$ の関係が成立している。

【0072】なお、本例では図4において、レチクルマーク31の像強度の変化率が最も高くなる位置に合焦用の撮像素子50、51が配置されているが、上述の計測結果を用いて、基準マーク32の像強度の変化率が最も高くなる位置にそれらの撮像素子50、51を配置するようにしてもよい。その後、例えばウエハの交換毎にAFセンサ21A、21Bのキャリブレーションを行うために基準マーク32のデフォーカス量を検出する場合には、例えばAFセンサ21A、21Bを介して検出される基準マーク32付近でのデフォーカス量Fが0となるようにサーボ方式でZチルトステージ16を駆動した状態で、像面計測系35Aでレチクルマーク31及び基準マーク32を観察する。そして、画像処理演算系52は合焦用の撮像素子50及び51の撮像信号を処理して、それぞれ基準マーク32の像のコントラストCの値CA及びCBを求める。図9(b)は、この場合のデフォーカス量Fと検出される基準マーク32の像のコントラストCとの関係を示している。

【0073】次に、画像処理演算系52は、図9(a)で求めた関数 $F = i(C)$ のコントラストCとしてCBを代入し、関数 $F = h(C)$ のコントラストCとしてCAを代入することによって、それぞれ基準マーク32の像のデフォーカス量 $i(CB)$ 及び $h(CA)$ を求め、更に次式よりこれらのデフォーカス量の平均値Fをを求める。

$$【0074】$$

$$F = \{h(CA) + i(CB)\} / 2 \quad (9)$$

これは、例えば短期的な経時変化等によって、投影光学系PLの像面にFのデフォーカス量が発生し、図9

(b)においてデフォーカス量Fの原点が0から0'にシフトしたことを意味している。そこで、像面処理演算系52から主制御系6を介してフォーカス信号処理系2に(9)式のデフォーカス量Fを供給し、デフォーカス量Fの目標値をFに変更することによって、変動後の像面に対する合焦を正確に行うことができる。なお、実際には上述のように図1の2つの像面計測系35A、35Bを介して検出されるデフォーカス量の平均値等に基づいてAFセンサ21A、21Bのキャリブレーションが行われる。

【0075】上述のように本例によれば、アライメント用の撮像素子47の他に、合焦用の第1及び第2の撮像素子50、51を配置し、予め求めてあるデフォーカス量とコントラストとの関係、及び静止状態で計測される2つのコントラストよりデフォーカス量を計測できるため、例えばウエハの交換時等に基準マーク部材20をZ方向に移動することなく高速に、且つ高精度にAFセンサ21A、21Bのキャリブレーション及び合焦を行うことができる。

【0076】しかもこの場合には、レチクルマーク31の形成面に対して基準マーク32の形成面が共役とな

り、レチクルマーク 3 1 の形成面はアライメント用の撮像素子 4 7 の撮像面と共役であるため、基準マーク 3 2 の形成面も撮像素子 4 7 の撮像面と共役となり、撮像素子 4 7 の撮像面にはレチクルマーク 3 1 及び基準マーク 3 2 の像が共に高いコントラストで形成される。従って、撮像素子 4 7 の撮像信号より基準マーク 3 2 (より正確にはこの中の基準マーク FMR) の像に対するレチクルマーク 3 1 (より正確にはこの中のアライメントマーク RMR) の X 方向、Y 方向への位置ずれ量を高精度に検出できる。従って、レチクル R のアライメントをも高精度に行うことができる。

【0077】なお、本例では、基準マーク 3 2 の像のベストフォーカス位置も所定の焦点深度 DOF が得られるフォーカス位置の中点として決定しているが、投影光学系 PL の像面の焦点深度 DOF は、最終的にはテストプリントによって所定のライン・アンド・スペースパターンの像をフォーカス位置を変えながら評価用のウエハ上に露光し、露光後のウエハを現像して形成されるレジストパターンの線幅を走査型電子顕微鏡 (SEM) を用いて計測することによって決定される。即ち、計測される線幅の変化量が所定の許容値以上となるときのフォーカス位置の範囲が実際の焦点深度 DOF* となる。そこで、このように決定される焦点深度 DOF* を図 9

(a) の曲線 6 5 B, 6 5 A からベストフォーカス位置を決定する際の焦点深度 DOF として使用することによって、本例の方法で計測される投影光学系 PL の像面のベストフォーカス位置をテストプリントで決定されるベストフォーカス位置にほぼ一致させることができる。

【0078】また、本例では図 1 の開口絞り板 3 を回転することによって露光光 IL の照明条件を種々に変更できるが、照明条件の変更によって投影光学系 PL の内部での露光光 IL の光路も変化して、図 9 (a) のデフォーカス量 F と基準マーク像のコントラスト C との関係を表す曲線 6 5 B, 6 5 A も微妙に変化する。そこで、図 9 (a) の曲線 6 5 B, 6 5 A に対応する関数 $F = i(C)$, $F = h(C)$ を通常の照明条件で得られる関数

とすると、本例では他の照明条件 (変形照明、輪帯照明、小 σ 照明等) についても予めそれぞれデフォーカス量 F とコントラスト C との関係を示す関数を求めて記憶しておき、画像処理演算系 5 2 では照明条件の切り換え時には使用する関数も切り換えるようにしている。

【0079】図 10 (a) は他の照明条件での関数 $F = h(C)$ に対応する関数 $F = h_1(C) \sim F = h_3(C)$ の一例を示している。このように照明条件毎に使用する関数を切り換えることによって、各照明条件下でそれぞれ高精度に AF センサ 2 1 A, 2 1 B のキャリブレーションを行うことができる。なお、照明条件を切り換える毎にそれらの関数 $i(C)$, $h(C)$ を新たに求め直すようにしてよい。

【0080】また、投影光学系 PL の像面の位置を含む

デフォーカス量 F とコントラスト C との関係を表す関数 $h(C)$, $i(C)$ は、露光光 IL の照射量や大気圧変化等によっても変化することがある。そこで、各照明条件において、それぞれ照射量や大気圧の変化量等に対する関数 $h(C)$, $i(C)$ の変化量を計測して記憶しておき、熱エネルギーの蓄積量や大気圧の変化量等に応じて関数 $h(C)$, $i(C)$ を補正している。これは従来の予測制御を発展させたものである。図 10 (b) は、例えば大気圧の所定の変化量に応じて関数 $F = h(C)$ が、関数 $F = h'(C)$ に変化する様子を示し、この図 10 (b) において、関数 $h(C)$ と関数 $h'(C)$ との差分 (変化量) をその大気圧の変化量に対応させて記憶しておけばよい。このように熱エネルギーの蓄積量や大気圧の変化量等に応じて関数 $h(C)$, $i(C)$ を補正して使用することによって、より正確に AF センサ 2 1 A, 2 1 B のキャリブレーションを行うことができる。

【0081】また、本例では 2 個の像面計測系 3 5 A, 3 5 B を用いて、投影光学系 PL の露光フィールド内の 2 点でデフォーカス量を計測している。これに対して、例えば像面計測系 3 5 A の第 1 対物レンズ 3 9 をレチクル R の右半面上で自由に動けるようにし、第 1 対物レンズ 3 9 とハーフミラー 4 4 との間に物体面と像面との間隔を変化できるリレーレンズ系を配置し、他方の像面計測系 3 5 B もレチクル R の左半面上で自由に動けるようにすることによって、露光フィールド内の任意の計測点でデフォーカス量を計測するようにしてもよい。これによって、投影光学系 PL の像面傾斜、像面湾曲も合わせて計測することが可能となる。

【0082】また、本例では、図 5 (b) に示すように、X 軸の合焦用マーク 5 4 R X, 5 5 R X の像のコントラストと、Y 軸の合焦用マーク 5 4 R Y, 5 5 R Y の像のコントラストとの平均値を求めることによって、結像系のサジタル方向の結像特性の影響及びメリジオナル方向の結像特性の影響とを平均化しているため、結像系の方向性に依らずに高精度に AF センサ 2 1 A, 2 1 B のキャリブレーションを行うことができる。なお、このように 2 方向の合焦用マークを使用する代わりに、予めレチクル側の合焦用マーク 5 4 R X、及び基準マーク側の合焦用マーク 5 5 R X を X 軸に対して 45° で交差する計測方向に形成しておき、撮像素子 5 0, 5 1 でもその計測方向に対応する方向に画像データを読み出すことによって、結像系の方向性の影響を軽減するようにしてもよい。

【0083】更に、図 5 (b) において、合焦用マーク 5 4 R X, 5 5 R X にはコントラストの基準となる太い反射パターン 5 8 A, 5 8 B 及び太い明パターン 5 9 A, 5 9 B が設けられているため、例えば撮像素子 5 0, 5 1 の撮像信号に基づいてこれらの太いパターンの像の位置計測を行うことによって、露光用の照明光学系

及び投影光学系 PL のテレセントリック性（主光線の傾斜角）の計測を行うようにしてもよい。即ち、撮像素子 50、51 は共役面の前後に位置ずれているため、撮像素子 50 の撮像信号より計測される太いパターン像の位置と、撮像素子 51 の撮像信号より計測される太いパターン像の位置とのずれ量から、露光用の照明光学系及び投影光学系 PL のテレセントリック性の計測を行うことができる。

【0084】本例のようにレチクル R 上から落射照明を行う場合に、レチクル R にテーパ（厚さの傾斜）があると、レチクルマーク 31 からの反射光と基準マーク 32 からの反射光の主光線の傾斜角がずれるため、この傾斜角のずれの影響を無くするためにはレチクル R のパターン面と撮像素子 47 の撮像面とを共役にする必要がある。ところが、上述のように合焦用の撮像素子 50、51 の撮像信号より、露光用の照明光学系及び投影光学系 PL のテレセントリック性の計測を行うことができる場合には、その計測結果より基準マーク 32 の像とレチクルマーク 31 との位置ずれ量を補正できる。従って、アライメント用の撮像素子 47 に対してレチクルマーク 31 及び基準マーク 32 の像を合焦する必要がなくなって、第 2 対物レンズ 40 を駆動する必要もなくなるため、アライメントや合焦を高速に行うことができる。

【0085】また、本発明はステップ・アンド・スキャン方式のような走査露光型の投影露光装置にも適用できる。このように本発明は上述の実施の形態に限定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成を取り得る。

【0086】

【発明の効果】本発明の第 1 の合焦位置検出方法によれば、投影光学系の合焦位置、即ち像面の位置を短時間に検出できる利点がある。本発明の第 2 の合焦位置検出方法によれば、露光光の照明条件が変更されても高精度に投影光学系の合焦位置を計測できると共に、その合焦位置を短時間に計測できる利点がある。

【0087】これらの場合、基準マークの像のコントラストと投影光学系の合焦位置に対するデフォーカス量との関係を記憶しておき、この記憶された関係と検出されたコントラストとに基づいてその投影光学系の合焦位置を検出する場合には、デフォーカス量の検出時には複雑な演算処理を行うことなく迅速にそのデフォーカス量、ひいては合焦位置を検出できる。

【0088】また、そのコントラストとその投影光学系の合焦位置に対するデフォーカス量との関係を、その露光光の照明条件毎に複数記憶している場合には、照明条件を切り換えた場合でも容易に、且つ高精度に合焦位置を検出でき、そのコントラストとその投影光学系の合焦位置に対するデフォーカス量との関係を、その投影光学系に対する露光光の照射量、及びその投影光学系の周囲の大気圧の少なくとも一方に応じて複数記憶している場

合には、露光光の照射量の蓄積や大気圧変化が生じて也容易に、且つ高精度に合焦位置を検出できる。

【0089】次に、本発明の第 1 の投影露光装置によれば、本発明の第 1 の合焦位置検出方法が使用できる。また、本発明の第 2 の投影露光装置によれば、本発明の合焦位置検出方法を適用することによって合焦システム中の焦点位置検出系の基準面のキャリブレーションを高速、且つ高精度に行うことができる。

【0090】これらの場合、マスクに対してほぼ共役な面で照明系によって照明された基準マークの像とそのマスクに形成された所定のマークの像とを検出する第 3 の光電検出器を更に備えた場合には、この第 3 の光電検出器の検出信号を処理することによってそのマスクの位置ずれ量を検出できる。また、その投影光学系及びそのマスクを通過したその基準マークからの反射光とそのマスクに形成されたマークからの反射光とを受光すると共に、それら第 1、第 2、及び第 3 の光電検出器のそれぞれに導くための受光系と、この受光系の合焦位置を変化させるためにその受光系の少なくとも一つのレンズ素子を光軸方向に駆動する駆動系と、を有し、それら第 1 及び第 2 の光電検出器からの検出信号より求められるそのマスクに形成されたマークの像のコントラストに基づいてその駆動系を制御する場合には、その駆動系を介してそのマスクに形成されたマークの像を高精度にそれらの光電検出器に合焦させることができる。

【0091】また、第 1 及び第 2 の光電検出器の受光面は、基板ステージを投影光学系の光軸方向に移動したときに基準マークの像強度の変化量が極大又は極小となる位置にそれぞれ配置される場合には、基準マークのデフォーカス量を高感度に検出できる利点がある。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の実施の形態の一例で使用される投影露光装置を示す一部を切り欠いた構成図である。

【図 2】図 1 の光路補正部材 38、及びレチクルマーク 31、33 等の説明図である。

【図 3】(a) は図 1 の基準マーク 32、34 を投影光学系 PL の露光フィールド内に設定した状態を示す説明図、(b) は図 3 (a) の基準マーク部材 20 を示す平面図、(c) は図 3 (b) の基準マーク 32 を示す拡大平面図である。

【図 4】図 1 の投影光学系 PL 及び像面計測系 35A の結像系を簡略化して示す光路図である。

【図 5】図 1 の撮像素子 47、50、51 の観察視野内のレチクルマーク及び基準マークのマーク配置、並びにそれに対応して得られる撮像信号を示す図である。

【図 6】図 1 の第 2 対物レンズ 40 を駆動した場合に、レチクルマーク 31 中の合焦用マーク 54RX の像のコントラストが変化する様子を示す図である。

【図 7】(a) は第 2 対物レンズ 40 の駆動位置 T に対するレチクルマーク 31 の像のコントラスト C を表す曲

線を示す図、(b)は図7(a)の曲線から焦点深度DOFに基づいてベストフォーカス位置を決定する場合の説明図、(c)は図7(a)の曲線を微分して得られる曲線を示す図である。

【図8】(a)は第2対物レンズ40のシフト量 ΔT に対して2つの光電検出器50、51の撮像信号から得られるレチクルマークの像のコントラストの変化を示す図、(b)は第2対物レンズ40を静止した状態で得られる2つのコントラストからデフォーカス量を求める場合の説明図である。

【図9】(a)はAFセンサ21A、21Bで検出されるデフォーカス量Fに対して2つの光電検出器50、51の撮像信号から得られる基準マークの像のコントラストの変化を示す図、(b)は基準マークを静止した状態で得られる2つのコントラストからデフォーカス量を求める場合の説明図である。

【図10】(a)は複数の照明条件に対応して得られるデフォーカス量とコントラストとの関係を表す関数を示す図、(b)は大気圧を変化させた場合のデフォーカス量とコントラストとの関係を表す関数の変化を示す図である。

【図11】レチクルマークの像の前後に合焦用の2つの撮像素子の撮像面を位置決めするための動作の一例を示すフローチャートである。

【符号の説明】

- 1 光源系
- 3 開口絞り板

5 照明制御系

6 主制御系

R レチクル

PL 投影光学系

W ウエハ

16 Zチルトステージ

17 XYステージ

20 基準マーク部材

21A 焦点位置検出系(AFセンサ)の照射光学系

10 21B 焦点位置検出系(AFセンサ)の受光光学系

22 フォーカス信号処理系

31, 33 レチクルマーク

32, 34 基準マーク

35A, 35B 像面計測系

36, 37 可動鏡筒

38 光路補正部材

40 第2対物レンズ

41 スライダ

47 アライメント用の撮像素子

50, 51 合焦用の撮像素子

52 画像処理演算系

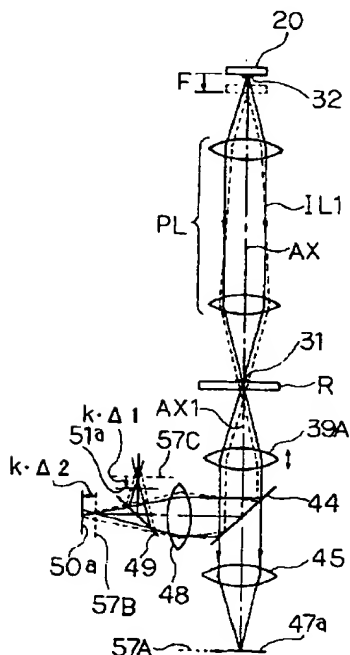
54RX, 54RY レチクルマークの合焦用マーク

55RX, 55RY 基準マークの合焦用マーク

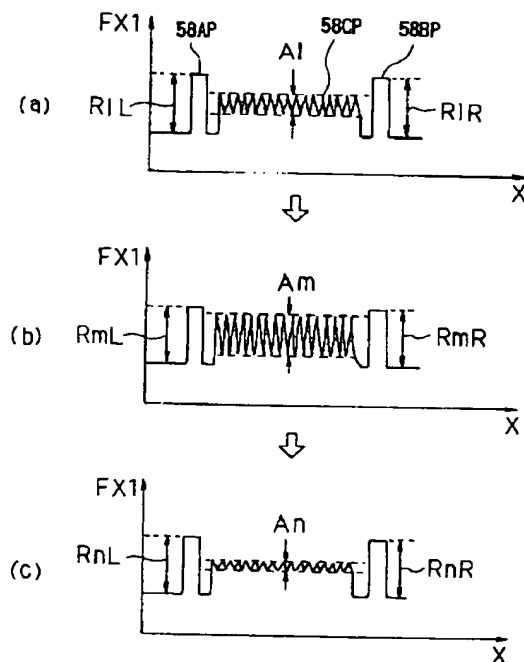
RMR, RML アライメントマーク(ファインアライメントマーク)

FMR, FML 位置の基準マーク

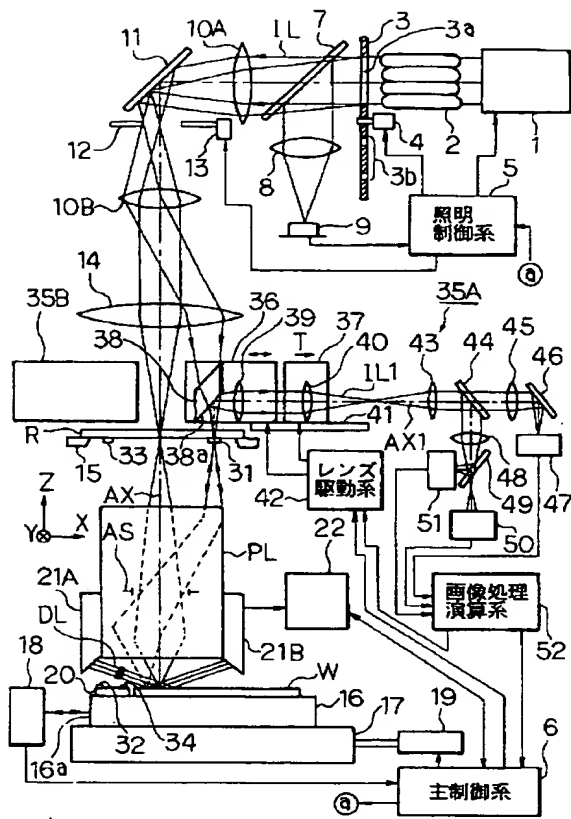
【図4】



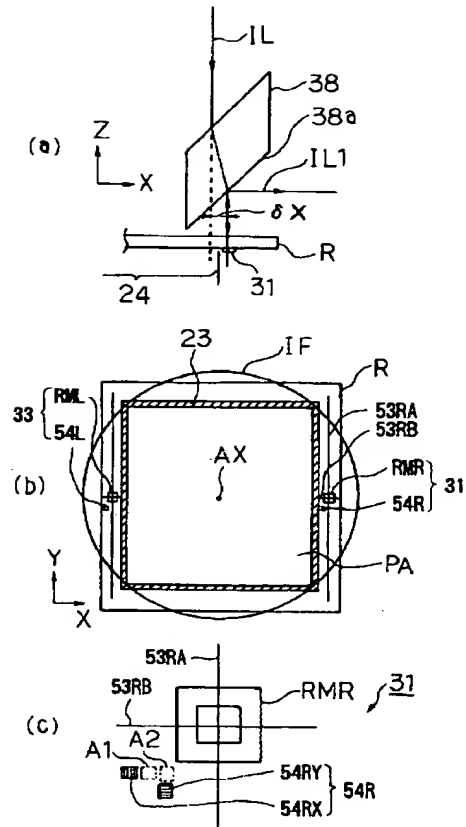
【図6】



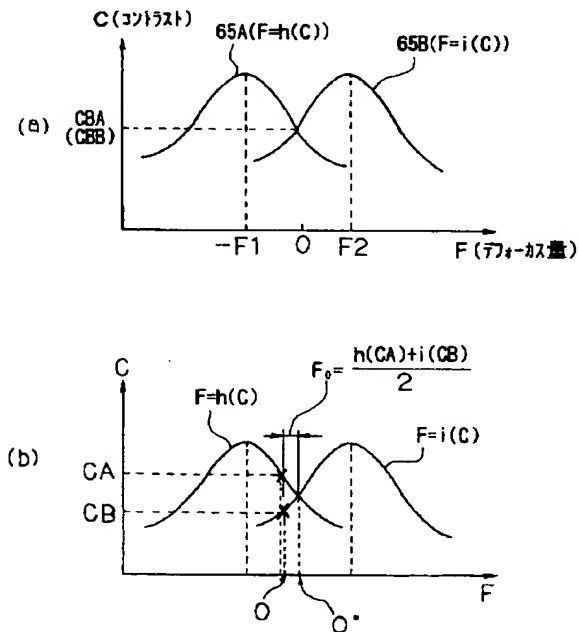
【図 1】



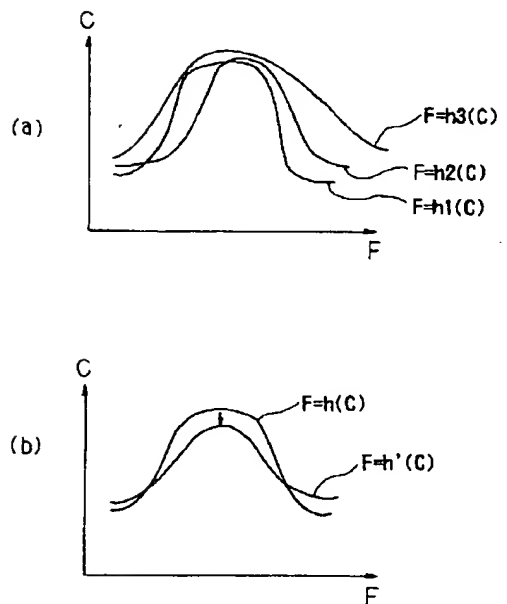
【図 2】



【図 9】



【図 10】



【図 11】

